

# Propuesta de un sistema de información ambiental en la recolección de residuos sólidos en el distrito de San Luis, Lima, Perú

PROPOSAL FOR A SYSTEM OF ENVIRONMENTAL INFORMATION IN THE COLLECTION OF SOLID WASTE IN THE DISTRICT OF SAN LUIS, LIMA, PERU

Julio Bardales<sup>1</sup>, Edwin de la Cruz<sup>2</sup>, Carlos Cabrera C.<sup>3</sup>

RECIBIDO: 28/09/2016 - APROBADO: 29/10/2016

## RESUMEN

El presente trabajo propone el sistema de información ambiental del distrito de San Luis en Lima, teniendo como objetivos: la creación de una base de datos ambiental del distrito de San Luis y las rutas óptimas, en las cuales se plantean las rutas idóneas para minimizar costos y maximizar la eficiencia en la recolección de los residuos sólidos segregados. Asimismo, según los análisis de evaluación económica realizados, se obtuvo un VAN de 267235.12, una TIR de 34.37 % y un ratio beneficio/costo de 1.106 y con los escenarios alternativos de incremento de participación de 10, 20, 40, 80 y 100 %.

**Palabras clave:** Contaminación urbana, residuos sólidos, sistema de información.

## ABSTRACT

This paper proposes the Environmental Information System of the District of San Luis in Lima, with the objectives: the creation of an environmental database district of San Luis, and optimal routes, in which the best routes arises to minimize costs and maximize efficiency in the collection of solid waste segregated. Also, according to the analysis of economic evaluation conducted VAN 267235.12, an IRR of 34.37 % and Benefit / Cost 1.106 ratio was obtained with the alternative scenarios for increasing participation of 10, 20, 40, 80, and 100 %.

**Keywords:** Urban pollution, solid waste, information system.

1 Ingeniero geógrafo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

2 Ingeniero geógrafo. Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

3 Docente principal. Departamento de Ingeniería Geográfica. Universidad Nacional Mayor de San Marcos. E-mail: [ccabrera@unmsm.edu.pe](mailto:ccabrera@unmsm.edu.pe).

## I. INTRODUCCIÓN

En los últimos años, las naciones del mundo industrializado han cuadruplicado su producción de residuos domésticos, incrementándose esta cifra en un dos o tres por ciento por año. El volumen de producción de desechos es inversamente proporcional al nivel de desarrollo del país que se trate. El per cápita del poblador peruano está entre 0.8 y 1.0 kg de residuo/habitante/día. (BID, 1997) (Camacho, 2001).

El destino final de los residuos es administrado por el municipio, quien tiene la misión de establecer un manejo integrado de residuos, que incluye herramientas informáticas como la aplicación de un sistema de información ambiental que nos permita contribuir en la solución integral de este problema (MINAM, 2008) (CONAM, 2005).

## II. METODOLOGÍA

La metodología para diseñar un sistema de recolección de residuos sólidos urbanos segregados en la fuente se ha estructurado en cuatro etapas.

1. Se depura la cartografía digital para conservar únicamente la información necesaria. Partiendo de ella, se dibuja la red que se utilizará con el Network Analyst del ArcGis10.0 y se crea la base de datos asociada que tiene como atributos principales el nombre de la calle, el sentido de circulación, la distancia de la vía.
2. La segunda etapa consiste en el análisis geográfico de la generación de residuos sólidos del distrito de San Luis, que se calcula a partir de factores como la población y el nivel socioeconómico, para cada una de las calles de la ciudad.
3. En la tercera etapa y a partir de la distribución geográfica de la cantidad de residuos generados, se han implementado varios scripts que optimizan la localización y la ubicación de los puntos ecológicos.
4. En la cuarta y última etapa, la zona de estudio se divide, para cada una de las fracciones, en sectores de recogida sobre los que se aplican las funciones de la extensión Network Analyst del ArcGis10.0, con el fin de optimizar el itinerario de recogida.

## III. DISCUSIÓN Y RESULTADOS

### 3.1. Rutas óptimas

La recolección de los residuos sólidos domiciliarios segregados en la fuente (RSDSF) es la etapa de la gestión que incluye las actividades de traslado de los residuos desde el punto donde son depositados por los ciudadanos hasta el camión de recogida, carga al camión, transporte a los puntos de transferencia o de tratamiento y, por último, descarga en dicho lugar (Ley N° 27314, 2000).

Así, la ruta óptima para la recolección de residuos sólidos segregados en la fuente se definirá de acuerdo a la siguiente fórmula.

Dónde:

R.O. = Ruta óptima, D = Distancia, T = Constante de tiempo, V = Velocidad.

Las constantes de tiempo (T) estarán en función del tipo de vía. Tenemos:

Avenida = 1, Jirón = 2, Calle = 3

La velocidad será constante, la cual se establecerá a 10 km/h.

### 3.2. Preparación de la red

Para conseguir este resultado, se ha dividido al distrito en cinco sectores de modo que faciliten una posterior edición de las calles. Normalmente, cada sector tiene entre 25 y 30 calles, las cuales son introducidas con el nombre de la calle y el sentido de circulación, que se almacenan en los campos *Streetname* y *Oneway*, respectivamente. El sentido de circulación se define siguiendo las indicaciones del Network Analyst:

- FT cuando el sentido sea el mismo que el del dibujo (sentido de digitalización).
- TF cuando el sentido es el contrario.
- En blanco o cualquier otro valor para indicar sentidos bidireccionales.

Con el fin de asignar correctamente estos valores, se utiliza una de las opciones del Legend Theme que permite visualizar los sentidos de digitalización, al asignar como símbolo de representación una línea con una flecha de sentido.

El último paso para tener preparada la red se basa en la unión de todos los sectores en un solo tema que represente a todo el distrito.

De acuerdo a lo investigado por Jesús Racero y Edgar Pérez en Optimización de rutas de recolección de residuos sólidos domiciliarios, el número de casas por vehículo recolector se calcula de la siguiente manera:

$$U = (N \times C \times F) / (Hc \times G)$$

Donde:

U = Cantidad de viviendas por vehículo en una jornada normal de trabajo.

N = Número de viajes que puede realizar el vehículo en la jornada.

C = Capacidad del vehículo en kg.

F = Frecuencia de recolección.

Hc = Habitantes promedio por vivienda.

G = Producción de RRSS en kg/hab./día

Reemplazando datos en el caso del área de estudio se tiene:

N = 2

C = 1500 kg (capacidad del motofurgón).

$F = 3/7$  (3 veces por semana).

$H_c = \% \text{ Pob/Viv. total.}$

$G = 0.71 \text{ kg/hab./día.}$  (Estudio de caracterización 2011, MDSL).

$\% \text{ Pob} = (\text{Población total año 2012}) \times 0.212$  (% de residuos reaprovechables).

$\% \text{ Pob} = 63853 \times 0.212 = 13537 \text{ hab.}$

$\text{Viv. total} = 14142 + 1290 = 15432 \text{ viviendas.}$

$H_c = 13537/15432 = 0.877 \text{ hab/Viv.}$

$U = 2064.38 = 2065 \text{ viviendas}$

Por lo tanto, se recolectará en  $2065 \times 2 = 4130$  viviendas.

Del mismo modo, para calcular el número de vehículos a requerirse en la recolección y zonas a intervenir se tiene la siguiente fórmula:

$$N_v = (G \times P \times 7 \times Fr \times K) / (N \times C \times Dh)$$

Donde:

$N_v =$  Número de vehículos y zonas

$G =$  Producción de RRSS en Kg./hab./día.

$P =$  Población a intervenir.

$Fr =$  Factor de reserva.

$K =$  Factor de cobertura.

$N =$  Número de viajes que puede realizar el vehículo en la jornada.

$C =$  Capacidad del vehículo en kg.

$Dh =$  Horas-hombre netos diarios.

Reemplazando datos en el caso del área de estudio se tiene:

$G = 0.71 \text{ kg/hab./día.}$  (Estudio de caracterización 2011, MDSL)

$\% \text{ Pob} = (\text{Población total año 2012}) \times 0.212$  (% de residuos reaprovechables)

$\% \text{ Pob} = 63853 \times 0.212 = 13537 \text{ hab.}$

$Fr = 1.1$

$K = 1.0$

$N = 2$

$C = 1500 \text{ kg}$  (capacidad del motofurgón)

$Dh = 6$

$N_v = 4.111 = 5 \text{ vehículos}$

Por lo tanto, se necesitarán 5 vehículos que operarán en 5 zonas de intervención en todo el distrito de San Luis, con una frecuencia de recolección de 3 veces por semana.

Para el cálculo del tamaño de la cuadrilla, se emplea la siguiente fórmula:

$$N_r = (N \times C) / (R \times H)$$

Donde:

$N = 2$

$C = 1500 \text{ kg}$  (capacidad del motofurgón).

$R =$  Rendimiento del trabajador (425 kg/hombre/h).

$H =$  Duración de la jornada de trabajo.

Reemplazando datos en el caso del área de estudio se tiene:

$N = 2$

$C = 1500 \text{ kg}$  (capacidad del motofurgón).

$G = 0.71 \text{ kg/hab./día}$  (Estudio de caracterización 2011, MDSL)

$R =$  Rendimiento del trabajador (425 kg/hombre/h)

$H = 8$

$N_r = 0.883 = 1$  persona, para el caso del área de estudio se emplearán 3 personas por las características poblacionales que presenta (densidad poblacional alta).

### 3.3. Ubicación de los puntos ecológicos

Una vez conseguida la red que representa el tráfico urbano y conocida la generación de RRSSDSF, los siguientes pasos de la metodología consisten en:

- a. Localización de los emplazamientos idóneos de los puntos de toma

Esto es, analizar la ubicación de los puntos ecológicos, los emplazamientos que cumplen con el objetivo de que ningún habitante de la zona debe recorrer más de 100 metros para depositar sus residuos segregados. Para ello se han establecido los siguientes criterios:

- Situación de los contenedores, preferentemente en las esquinas y las áreas verdes (parques).
- Puntos ecológicos en tramos internos y cercanos a los pasajes por donde el camión no podrá tener el recorrido.

- b. Depuración de los puntos de toma

En segundo lugar, se depuran los puntos ecológicos que puedan ser muy cercanos, para que, posteriormente, se elijan los necesarios. En este caso se tendrán tres puntos ecológicos por sector.

- c. Cubicación de los puntos de toma

Este tercer paso consiste en la cubicación de los mismos, es decir, la determinación del número y capacidad de los contenedores, en cada punto ecológico donde se deben recoger los residuos segregados (Tabla N° 1).

**Tabla N° 1.** Cantidad de puntos ecológicos

Volumen (L)	N° puntos ecológicos
0 - 800	12
801 – 1600	12
1601 - 2200	12

Fuente: Elaboración propia.

### 3.4. Optimización de itinerarios de recogida

#### 3.4.1. Microrruta Sector N° 01

Este sector ha sido delimitado entre las siguientes avenidas: Avenida Circunvalación por el este, Avenida Nicolás Arriola por el suroeste, Avenida Nicolás Ayllón por el noreste y por la calle Garcilaso de la Vega por el norte, que limita con el distrito de El Agustino.

Las urbanizaciones que se encuentran en este sector son: AA. HH. 1ro de Mayo, Ex Fundo El Pino, Jorge Chávez, Mercurio, San Jacinto, San Pablo 1, San Pablo 12 (Tabla N° 2).

**Tabla N° 2.** Análisis de selección de la ruta óptima Sector 01

Distancia recorrida (km)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	14.5	15.2	15.7
Horas Hombre Diarias	16.5	18.6	19.5
Horas Hombre Semanales	66.0	74.4	78.0
Horarios de recolección	07:00 - 12:30	07:00 - 13:10	07:00 - 13:30
Punto de inicio de recolección	Intersección Av. Echeandía con Av. Nicolás Arriola		
Punto final de recolección	Planta de segregación		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.2. Microrruta Sector N° 02

Esta ruta ha sido delimitada entre las siguientes avenidas: Avenida Nicolás Arriola por el norte, Avenida Circunvalación por el oeste, Avenida Las Torres por el este, Avenida Los Mochicas por el sureste (Tabla N° 3).

Las urbanizaciones que se encuentran en este sector son: Ex Fundo El Pino, Jardines de Salamanca.

**Tabla N° 3.** Análisis de selección de la ruta óptima Sector 02

Distancia recorrida (km)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	16.7	16.9	17.1
Horas Hombre Diarias	12.0	13.5	15.0
Horas Hombre Semanales	48.0	54.0	60.0
Horarios de recolección	14:00 - 18:00	14:00 - 18:30	14:00 - 19:00
Punto de inicio de recolección	Intersección Av. Las Torres con Av. Mariscal Domingo Nieto		
Punto final de recolección	Planta de segregación		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.3. Microrruta Sector N° 03

Esta ruta ha sido delimitada entre las siguientes avenidas: Avenida Nicolás Arriola por el norte, Avenida San Luis por el oeste, Avenida Circunvalación por el este, Avenida Del Aire por el sur (Tabla N° 4).

Las urbanizaciones que se encuentran en este sector son: Javier Prado V, La Viña, Las Moras, Marinera, San Luis, Trébol.

**Tabla N° 4.** Análisis de selección de la ruta óptima Sector 03

Distancia recorrida (km)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	16.6	17.0	17.3
Horas Hombre Diarias	18.0	24.0	25.2
Horas Hombre Semanales	72.0	96.0	100.8
Horarios de recolección	07:00 - 14:00	07:00 - 15:00	07:00 - 15:20
Punto de inicio de recolección	Intersección Ca. Río Maraño con Av. San Luis		
Punto final de recolección	Planta de segregación		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.4. Microrruta Sector N° 04

Esta ruta ha sido delimitada entre las siguientes avenidas: Avenida Del Aire por el norte, Avenida San Luis por el oeste, Avenida Circunvalación por el este, Avenida Canadá y el jirón José Urdanivia por el sur (Tabla N° 5).

Las urbanizaciones que se encuentran en este sector son: Cahuache, Javier Prado III, IV y V etapa, Villa Jardín.

**Tabla N° 5.** Análisis de selección de la ruta óptima Sector 04

Distancia recorrida (km)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	16.9	17	17.5
Horas Hombre Diarias	19.5	20.3	21.0
Horas Hombre Semanales	78.0	81.0	84.0
Horarios de recolección	07:00 - 13:30	07:00 - 13:45	07:00 - 14:00
Punto de inicio de recolección	Intersección Av. Del Aire con Av. San Luis		
Punto final de recolección	Planta de segregación		

Fuente: Elaboración propia.

#### 3.4.5. Microrruta Sector N° 05

Esta ruta ha sido delimitada entre las siguientes avenidas: Avenida Nicolás Arriola por el norte, Avenida Aviación por el oeste, Avenida San Luis por el este, Avenida Canadá por el sur (Tabla N° 6).

Las urbanizaciones que se encuentran en este sector son: AA.HH. Limatambo, Agrupación Esther, Castilla, Las Moras, Libertad, Lincoln, Reyes, Rincón, Túpac Amaru.

**Tabla N° 6.** Análisis de selección de la ruta óptima Sector 05

Distancia recorrida (km)	Opción 1	Opción 2	Opción 3
	23.3	23.6	24.3
Horas Hombre Diarias	19.5	20.3	21.0
Horas Hombre Semanales	78.0	81.0	84.0
Horarios de recolección	07:00 - 13:30	07:00 - 13:45	07:00 - 14:00
Punto de inicio de recolección	Intersección Av. Canadá con Jr. Arqueología		
Punto final de recolección	Planta de segregación		

Fuente: Elaboración Propia.

### 3.5. Puntos críticos por residuos sólidos

En la siguiente tabla se aprecia la cuantificación y ubicación de cada punto crítico (coordenadas este y norte, sistema de proyección WGS84 zona 18s) (Tabla N° 7).

**Tabla N° 7.** Puntos críticos por residuos sólidos

ID	Este	Norte	Z
1	282357.000	8666168.000	212.000
2	283799.000	8665913.000	213.000
3	283906.000	8665927.000	220.000
4	283902.000	8665893.000	221.000
5	283580.000	8665683.000	217.000
6	283651.000	8665607.000	216.000
7	283764.000	8665253.000	216.000
8	283783.000	8665045.000	215.000
9	283479.000	8664774.000	207.000
10	283830.000	8665548.000	210.000
11	282754.000	8665217.000	199.000
12	282604.000	8665264.000	199.000
13	282588.000	8665270.000	200.000
14	282717.000	8665328.000	201.000
15	282908.000	8665482.000	206.000
16	282587.000	8665166.000	196.000
17	282470.000	8665196.000	200.000
18	282125.000	8664903.000	192.000
19	281911.000	8664870.000	185.000
20	281492.000	8664582.000	178.000
21	281447.000	8664293.000	178.000

Fuente: Elaboración propia.

Una vez obtenida la información de campo, se llevó a cabo la incorporación al sistema de información ambiental, de manera que pueda visualizarse y procesarse para su posterior interpretación.

## IV. CONCLUSIONES

1. El resultado final de este trabajo aporta a los responsables de los servicios de residuos sólidos una metodología simplificada para el diseño y la gestión de este tipo de sistemas.
2. Los datos y la información que se obtendría sobre residuos sólidos y almacenados en la base de datos del sistema de información ambiental, a partir de la puesta en marcha del proyecto, sería de gran aporte para estudios de manejo integral de residuos sólidos.
3. Los sistemas de información geográfica/ambiental son una potente herramienta en la recolección de los residuos sólidos. Aspectos como la localización, la ubicación y estimación del volumen, la sectorización y el cálculo de las rutas óptimas de recogida han sido objeto de una metodología desarrollada en el entorno de Arc Gis.

## V. RECOMENDACIONES

- La propuesta de un sistema de información ambiental en la recolección de residuos sólidos es una buena adaptabilidad a la realidad del distrito de San Luis y puede ser aplicada a otras realidades, por lo que se recomienda darle mayor énfasis al desarrollo de la misma.
- Es necesario profundizar en el estudio de la gestión de riesgos y adaptación al cambio climático para el proyecto, de manera que se pueda establecer escenarios desde muy favorables a muy críticos.
- En términos generales, es recomendable una implementación del presente proyecto en el distrito, ya sea paulatinamente, como en el total de intervención de viviendas (con un margen de riesgo mayor) y en realidades con similares características socioeconómicas, independientemente de lo promovido por el MINAM/MEF en el plan de incentivos.

## VI. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] BID. Guía para Evaluación de Impacto Ambiental para Proyectos de Residuos Sólidos Municipales, Procedimientos Básicos. Diciembre, 1997.
- [2] Camacho Hugo, Cámara Luis, Cascante Rafael y Sainz Héctor (Acciones de Desarrollo y Cooperación A.D.C – Fundación CIDEAL). El Enfoque del Marco Lógico: 10 casos prácticos, Cuaderno para la identificación y diseño de proyectos de desarrollo. Madrid, 2001. 235 pp.
- [3] Consejo Nacional del Ambiente. Plan Nacional de Gestión Integral de Residuos Sólidos. Lima – Perú. Junio, 2005.
- [4] LEY N° 27314. Ley General de Residuos Sólidos, Lima - Perú, Julio 2000.
- [5] Ministerio del Ambiente – Ministerio de Economía y Finanzas. Guía de Identificación, Formulación y Evaluación Social de Proyectos de Residuos Sólidos Municipales a Nivel de Perfil. Lima – Perú. 2008. 206 pp.

